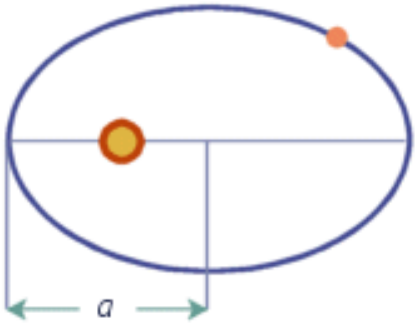
# TP 12
# La physique de Kepler
# Comment déterminer la masse de Jupiter ?

**OBJECTIF :** Exploiter la troisième loi de Kepler dans le cas d'un mouvement circulaire

## Document 1 : La troisième loi de Kepler

Dès 1595 un jeune professeur de mathématiques du collège de Graz : Johannes Kepler est persuadé qu'il y a un lien entre le rayon moyen de l'orbite d'une planète et sa vitesse sur son orbite. Mais il faudra à Kepler une très longue patience et des efforts incroyables pour trouver empiriquement une relation entre le rayon R de l'orbite moyenne d'une planète et sa période de révolution T (appelée à ce jour : troisième loi de Kepler).

Ce n'est qu'en 1618 que la troisième loi de Kepler, apparaît pour la première fois dans un ouvrage intitulé « Harmonices mundi » grâce aux mesures les plus précises sur les planètes que la science n'ait jamais eues à sa disposition. Ces mesures ont été réalisées par Tycho Brahe dont Kepler a été l'assistant.




**Énoncé de la loi :**

Le carré de la période de révolution T d'une planète P est proportionnel au cube du demi-grand axe a de sa trajectoire elliptique autour du Soleil S :

$$\frac{T^2}{a^3} = k(\text{constante})$$

## Document 2 : Les satellites de Jupiter

Jupiter est une planète géante gazeuse. Il s'agit de la plus grosse planète du Système solaire et la cinquième en partant du Soleil. Elle doit son nom au dieu romain Jupiter.

Visible à l'œil nu dans le ciel nocturne, Jupiter est habituellement le quatrième objet le plus brillant (après le Soleil, la Lune et Vénus).

Les quatre satellites de Jupiter, Callisto, Europe, Io et Ganymède, sont en bonne approximation, caractérisés par la même constante de proportionnalité.

Les lois de la gravitation universelle énoncées par Isaac Newton permettent de relier la constante de la troisième loi de Kepler à la masse de l'astre central.

On peut appliquer la troisième loi de Kepler non plus aux planètes qui orbitent autour du Soleil, mais aux quatre satellites de Jupiter (Callisto, Europe, Io et Ganymède qui ont des trajectoires quasi-circulaires). Pour chacun d'eux, leur rayon r et leur période T vérifient la relation :

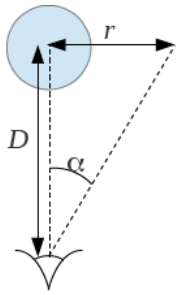
$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G.M_J}$$

G : constante universelle de gravitation :

$G = 6{,}67.10^{-11}$ N.m².kg$^{-2}$

De gauche à droite les satellites : Callisto, Ganymède, Europe et Io.

## Document 3 : Angle de visée




L'angle de visée $\alpha$ est l'angle sous lequel on voit le rayon de la trajectoire du satellite.

D est la distance Terre-Jupiter (D donnée en u.a. par Stellarium, 1 u.a. = $1{,}496 \times 10^{11}$ m)

r : est la distance Jupiter-satellite

## TRAVAIL À EFFECTUER :

### ANALYSER : 🕑 30 min conseillées

**1.** De quelles caractéristiques des satellites de Jupiter a-t-on besoin pour déterminer la masse de Jupiter ? Justifier.

**2.** Élaborer un protocole permettant de mesurer la période de chacun des satellites de Jupiter à l'aide d'un logiciel de planétarium (mode d'emploi en annexe).

**3.** Élaborer un protocole permettant de mesurer le rayon de l'orbite de chacun des satellites de Jupiter.

| APPEL N°1 | **Appeler le professeur pour lui présenter les protocoles expérimentaux ou en cas de difficulté** |
|---|---|

## RÉALISER : 🕑 30 min conseillées

**4.** Déterminer le rayon et la période de l'orbite d'*Europe*.

Les valeurs des rayons et des périodes des orbites des trois autres satellites de Jupiter sont regroupées dans le tableau suivant :

| **Satellite** | **Io** | **Ganymède** | **Callisto** |
|---|---|---|---|
| ***T* en jours (j)** | 1,75 | 7,15 | 16,69 |
| ***r* (m)** | $3{,}98 \times 10^8$ | $1{,}08 \times 10^9$ | $1{,}85 \times 10^9$ |

**5.** Tracer le graphe $r^3 = f(T^2)$. Modéliser ce graphe.

Résultats de la modélisation :

| **APPEL N°2** | **Appeler le professeur pour lui présenter les résultats expérimentaux ou en cas de difficulté** |
|---|---|

## VALIDER : 🕑 30 min conseillées

**6.** Déduire la masse de Jupiter des résultats expérimentaux.

**7.** Déterminer l'intervalle de confiance de la détermination de la masse de Jupiter.

L'incertitude sur la détermination de la masse de Jupiter est : $\boldsymbol{U_{M_J}} = \frac{4\pi^2}{\boldsymbol{G}} \times \boldsymbol{U_{r^3/T^2}}$ où $\boldsymbol{U_{r^3/T^2}}$ représente l'incertitude indiquée par la modélisation pour le coefficient directeur du graphe $r^3 = f(T^2)$.

**8.** La masse de Jupiter trouvée dans la littérature scientifique est $1{,}8986 \times 10^{27}$ kg. La valeur que vous avez déterminée est-elle en accord avec cette valeur de référence ?

| **APPEL N°3** | **Appeler le professeur pour lui présenter vos conclusions ou en cas de difficulté** |
|---|---|

## POUR S'ÉVALUER…

| **Analyser** | *coefficient 2* | A | | | | | | | | | | | | B | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Réaliser** | *coefficient 2* | A | | | | B | | | | C | | | | D | | | | A | | | | B | | | | C | | | |
| **Valider** | *coefficient 2* | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D |
| ***Note*** | | **20** | **18** | **16** | **15** | **18** | **17** | **15** | **13** | **16** | **15** | **12** | **11** | **15** | **13** | **11** | **10** | **18** | **17** | **15** | **13** | **17** | **16** | **13** | **12** | **15** | **13** | **11** | **10** |

| **Analyser** | *coefficient 2* | C | | | | | | | | | | | | D | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Réaliser** | *coefficient 2* | A | | | | B | | | | C | | | | D | | | | A | | | | B | | | | C | | | |
| **Valider** | *coefficient 2* | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D | A | B | C | D |
| ***Note*** | | **16** | **15** | **12** | **11** | **15** | **13** | **11** | **10** | **12** | **11** | **8** | **7** | **11** | **10** | **7** | **6** | **15** | **13** | **11** | **10** | **13** | **12** | **10** | **8** | **11** | **10** | **7** | **6** |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Note** | | **10** | **8** | **6** | **5** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

# ANNEXE : MODE D'EMPLOI DU LOGICIEL STELLARIUM

**Téléchargeable gratuitement sur la page http://stellarium.fr/**

| Manipulation souhaitée | Opération permettant de la réaliser |
|---|---|
| Rechercher un astre | Taper sur la touche F3 ou cliquer l'icône de fenêtre de recherche (disponible dans la barre de menu qui peut être masquée) : <br>Remarque : pour suivre la planète sous l'horizon, l'icône « sol » doit être éteint : |
| Faire apparaître le nom des planètes | Cliquer sur l'icône afin qu'elle soit allumée |
| Augmenter / diminuer le grossissement | Tourner la mollette de la souris |
| Pour obtenir des trajectoires stables, choisir une monture équatoriale | Cliquer sur l'icône afin qu'elle soit allumée |
| Avancer dans le temps | Appuyer sur la touche « l » ou : <br>Répéter l'opération pour augmenter la vitesse de défilement |
| Arrêter l'avancement dans le temps | Appuyer sur la touche « k » ou |
| Reculer dans le temps | Appuyer sur la touche « j » ou |
| Revenir à la date de début de l'expérience | Appuyer sur touche « 8 » ou |
| Centrer l'objet sélectionné | Appuyer sur la touche : <br>Les caractéristiques de l'astre apparaissent dans le coin supérieur gauche de l'écran. |
| Pour afficher l'orbite d'un astre : | Sélectionner l'astre et appuyer sur la touche « O ». |
| Mesurer un angle de visée (en degrés° minutes ' secondes '' ) | Appuyer sur la touche : goniomètre <br>(glisser avec le bouton gauche pour mesurer) |